



# Überprüfung der sicherheits-technischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo)

Review der Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“

K.-J. Röhlig, C. Küppers, T. Schäfer & C. Walther

Braunschweig, 23.01.2019

# Überblick

- Allgemeines
- Langzeitsicherheit, Unterkritikalität in der Nachbetriebsphase und thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins
- Störfallanalysen
- Bestimmungsgemäßer Betrieb
- Unterkritikalität in der Betriebsphase
- Zusammenfassung



TU Clausthal



**Öko-Institut e.V.**  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology



FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA

11  
102  
1004

Leibniz  
Universität  
Hannover

# Allgemeines

## Qualitätssicherung der ÜsiKo-Ergebnisse (vier Berichtsentwürfe) durch unabhängigen Review

- **Vollständigkeit:** Wurden alle für die Sicherheit eines Endlagers relevanten Themen betrachtet? Sind die abgeleiteten Empfehlungen zum Delta vollständig?
- **Richtigkeit:** Wurde die Ermittlung des aktuell angemessenen Standes von W&T richtig vorgenommen? Sind die abgeleiteten Empfehlungen für die weiterführenden Untersuchungen in der Phase 2 richtig, eindeutig und klar formuliert?
- **Nachvollziehbarkeit:** Wurde bei der Bearbeitung eine schlüssige Vorgehensweise gewählt? Sind die abgeleiteten Empfehlungen zum Umgang mit dem Delta nachvollziehbar und geeignet, um eine Leistungsbeschreibung für die Phase 2 der ÜsiKo zu formulieren?

## Vorgehensweise (angelehnt an IAEA und OECD/NEA)

1. Studium der Berichte der Auftragnehmer (AN)
2. Formulierung von Verständnisfragen an die AN durch das Reviewteam
3. Beantwortung durch die AN
4. Erarbeitung eines Berichtsentwurfs durch das Reviewteam
5. Durchsicht des Berichtsentwurfs durch die AN auf faktische Richtigkeit („Faktencheck“) → Ausräumen von Missverständnissen, ausschließlich auf faktische Richtigkeit gerichtet
6. Endfassung des Berichts durch das Reviewteam
7. **Workshop zur Vorstellung der Ergebnisse durch AN und Reviewteam**

## Angemessener Stand von Wissenschaft und Technik (W&T)

- „Die Genehmigung darf nur erteilt werden, wenn ... die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist ...“ (BVerfG 1978).
- Dies bedeutet, dass der Stand von W&T zur Ermittlung der **Erfordernisse** heranzuziehen ist.
- Identifiziert eine Beurteilung nach dem Stand von W&T aus heutiger Sicht **Sicherheitsdefizite** im Vergleich zu den Bewertungen im PFB?
- Nur potentiell ungünstigere Einschätzungen würden Änderungen in der Bewertung (z. B. den Einsatz moderner Rechenverfahren) und ggf. auch in der Anlagenplanung erforderlich machen.

## Reviewteam

- Klaus-Jürgen Röhlig (TU Clausthal, Koordination)
- Christian Küppers (Öko-Institut)
- Thorsten Schäfer (Friedrich-Schiller-Universität Jena)
- Clemens Walther (Leibniz Universität Hannover)

Alle im Reviewbericht dokumentierten Einschätzungen sind Einschätzungen des gesamten Reviewteams.

***Die Mitglieder des Reviewteams waren in der Vergangenheit nicht an der Erstellung von Sicherheitsanalysen für das Endlager Konrad beteiligt. Sie waren auch in keiner Weise in die Bearbeitung der ÜsiKo involviert. Sie versichern, dass sie den Review unter Wahrung größtmöglicher Neutralität vorgenommen haben.***



# Langzeitsicherheit, Unterkritikalität in der Nachbetriebsphase und thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins



## Allgemeine Einschätzungen

- Methodik der AN sehr gut für eine systematischer Ermittlung und Bewertung von Deltas geeignet
- Vorgehensweise bei der Beurteilung der Sicherheitsrelevanz der Deltas ist angemessen, zielführend und sowohl der Aufgabenstellung als auch dem Vorsorgeprinzip gemäß des Kalkarurteils entsprechend
- Ansatz und Darstellung genügen hohen Ansprüchen an Qualitätssicherung, Nachvollziehbarkeit und Transparenz
- Terminologie der AN gelegentlich schwer verständlich

## Konservativität von Modellannahmen im PFB

- Annahmen zu Behälterstandzeiten
  - Annahmen zu Lösungszufluss und Löslichkeitsgrenzen (Grubengebäude)
  - Vernachlässigung des salinitätsbedingten Dichtegradienten bei der Modellierung der Grundwasserströmung
  - Eindimensionale Transportrechnungen
  - Vernachlässigung der Matrixdiffusion
- **Starke Überschätzung potentieller Konsequenzen**
- **Umfassend beim Umgang mit Deltas berücksichtigen!**

## Regulatorische Aspekte und Umgang mit Ungewissheiten (1/2)

- Radiologischer Bewertungsmaßstab  $1 \cdot 10^{-4}$  Sv/a:  
Reviewteam folgt den AN dahingehend, diesen Wert heranzuziehen  
(Stand des Diskurses und der Regelung)
- Sicherheitskonzept:
  - Einschluss ist zu gewährleisten
  - Ansatz der AN, die Einschlusswirkung anhand eines geeigneten Indikators zu überprüfen, ist sinnvoll und zielführend
  - Reviewteam folgt der AN-Auffassung, dass „das Fehlen der Ausweisung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs für das Endlager Konrad nicht als sicherheitsrelevantes Delta zum Stand von W&T angesehen“ wird

## Regulatorische Aspekte und Umgang mit Ungewissheiten (2/2)

- Nachweiszeitraum: Reviewteam folgt der AN-Auffassung, dass kein sicherheitsrelevantes Delta besteht
- Ungewissheiten zu Modellen: Reviewteam folgt der AN-Auffassung, dass kein sicherheitsrelevantes Delta besteht
- Ungewissheiten zu Daten und Parametern: Fehlen einer probabilistischen Analyse ist nicht als sicherheitsrelevantes Delta anzusehen

## Szenarien

- Das Reviewteam ...
  - sieht Überprüfung der betrachteten Szenarien anhand eines einschlägigen FEP-Katalogs durch die AN als wirkungsvolle Methode zur Ableitung möglicherweise sicherheitsrelevanter Deltas an.
  - folgt im Wesentlichen der Argumentation der AN zur Identifizierung und Einordnung von Deltas,
  - regt ausführlichere Argumentation zu Szenarien „Ausbreitung über den Schacht“ und „Ausbreitung durch verfüllte Bohrungen“ an (Fokus: genaue Lage-Berücksichtigung der Bohrungen auf Grund des Modellgitters und der Ausschluss einzelner alter Bohrungen).
- Auffassung des Reviewteams bzgl. des Standes von W&T unterscheidet sich von der der AN, dies beeinflusst jedoch die Beurteilung bzgl. der Deltas nicht.



## Mobilisierung und Transport im Grubengebäude

Das Reviewteam folgt der AN-Argumentation zur Identifizierung von Deltas.

## Grundwasserbewegung

- Charakterisierung der Grundwasserbewegung & Erkundungsarbeiten zur Ermittlung der Gesteinseigenschaften, seismische Kalibrierung auf Basis dieser Daten und Ermittlung der vertikalen Ausdehnung basierend auf Schichtenverzeichnissen aus Bohrungen ist, wie vom AN festgestellt, weiterhin Stand von W&T
  - Nachweis der weitflächig lückenlosen tonigen Barriere der Unterkreide im Hangenden des Endlagers und der geringeren Verbreitung der sandigen Unterkreideschichten
  - Niedrige Permeabilitäten / geringe Grundwasserbewegung / lange Verweilzeiten: Aussagen gestützt durch isotopengeochemische Untersuchungen
  - Reviewteam teilt AN-Auffassung, dass Diskussion von Unsicherheiten erfolgen müsste
  - Bewertung von Deltas: Vernachlässigung der Dichteeinflusses auf Strömung in PFB-Modellen (Überschätzung von Geschwindigkeiten → Konservativität) berücksichtigen!
- Keine sicherheitsrelevanten Deltas

## Transport in der Geosphäre

- Reviewteam folgt AN-Argumentation zu Deltas
- Mehrdimensionale Transportrechnungen wären heute technisch möglich, würden jedoch lediglich zum Abbau von Konservativitäten führen, es ergibt sich kein sicherheitsrelevantes Delta.
- Kolloidgetragener Transport: Hohe Salzfrachten in Porenwässern → Stabilisierung nur geringer Kolloid-/Nanopartikel-Konzentrationen zu erwarten, vermutlich untergeordnete Rolle des kolloidgetragenen Transports
- Gasphase: Neben C-14 (AN-Vorschlag) auch Se-79 betrachten!
- Sicherheitsrelevanz des Deltas bei Wahl der  $K_D$ -Werte für I-129 (Unterkreideszenario):  
Bei Abschätzung Konservativitäten berücksichtigen!



## Strahlenexposition

Das Reviewteam folgt der AN-Argumentation zur Identifizierung von Deltas.  
Gültige Strahlenschutzverordnung zugrunde legen!

## Kritikalität in der Nachbetriebsphase

Das Reviewteam folgt der AN-Argumentation zur Identifizierung von Deltas.  
Realistische Modelle zur Löslichkeitslimitierung hinzuzuziehen!

## Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins

Das Reviewteam folgt der AN-Argumentation zur Identifizierung von Deltas.

## Zusammenfassung

- Vollständigkeit
  - Gute Eignung des methodischen Ansatzes der AN
  - Alle sicherheitsrelevanten Themen durch AN betrachtet
  - Empfehlungen der AN vollständig, aber Se-79 in Gasphase betrachten!
  - Reviewteam: Keine zusätzlichen sicherheitsrelevanten Deltas
- Richtigkeit
  - AN-Ausführungen weitestgehend richtig, eindeutig und klar formuliert
  - Einige zusätzliche Dokumente (Stand von W&T) durch Reviewteam identifiziert, aber kein Einfluss auf Argumentation zu Deltas
  - Ermessensspielräume bei der Planung von Phase 2 → Konservativitäten stärker berücksichtigen!
- Nachvollziehbarkeit
  - Würdigung der AN-Methodik
  - Reviewteam folgt den Argumentationen der AN weitgehend



TU Clausthal



**Öko-Institut e.V.**  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology



FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA

11  
102  
1004

Leibniz  
Universität  
Hannover

# Störfallanalysen

## Allgemeine Einschätzungen

- Methodik der AN für eine systematische Ermittlung und Bewertung von Deltas geeignet
- Vorgehensweise der AN schlüssig und zielführend
- Vorgehensweise zur Erfassung aller sicherheitsrelevanten Störfälle und der Spiegelung am Stand von W&T geeignet
- Reviewteam kommt nur in wenigen Fällen zu einer abweichenden Bewertung

## Berechnung der Störfalldosis

- Seit 2003 neue Fassung der Störfallberechnungsgrundlagen (Kapitel 4): insbesondere Einbeziehung des Muttermilchpfads
- Bei langlebigen Radionukliden, die insbesondere über den Ingestionspfad wirksam sind, sind deutlich höhere Dosen zu unterstellen
- Eine Neuberechnung der Störfalldosen ist erforderlich
- Überprüfung, ob sicherheitsrelevantes Delta vorliegt in Phase 2 der ÜsiKo

## Erfordernis weiterer Prüfungen

- Technische Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS) von 2005 zur Zeit in Überarbeitung: Entspricht Auslegung nach TAS dem Stand von W&T?
- Liegen Erkenntnisse oder Hinweise vor, dass ein erdbebeninduzierter Steinfall zu berücksichtigen ist? Frage durch die AN aufgeworfen aber nicht beantwortet.
- Brandschutzmaßnahmen im Rahmen des weiteren Inbetriebnahmeverfahrens zu bewerten.
- Bei weiterem Planungsfortschritt ggf. Explosion von Akkumulatoren elektrisch betriebener Fahrzeuge zu berücksichtigen.

## Empfehlung weiterer Erläuterungen

- Bei einigen sicherheitstechnischen Fragestellungen Schlussfolgerungen der AN nicht nachvollziehbar:
  - biologische Einwirkungen von außen
  - Absturz schwerer Lasten auf Abfallbinde über Tage
- Auf Nachfrage hinreichende Erläuterungen durch die AN

## Zusammenfassung

- Vollständigkeit
  - Betrachtung aller relevanten Störfälle durch die AN
  - Empfehlungen der AN zu Deltas im Wesentlichen vollständig, aber ggf. Neubewertungen bei Planungsfortschritt und im weiteren Inbetriebnahmeverfahren notwendig, Neuberechnung der Störfalldosen erforderlich
  - Reviewteam: Keine zusätzlichen sicherheitsrelevanten Deltas
- Richtigkeit
  - Ermittlung des aktuellen Standes von W&T richtig vorgenommen
  - Abgeleitete Empfehlungen der AN sind zutreffend, eindeutig und klar formuliert
- Nachvollziehbarkeit
  - AN-Methodik zweckmäßig
  - Bewertungsgang mit wenigen Ausnahmen nachvollziehbar





TU Clausthal



**Öko-Institut e.V.**  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology



FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA

11  
102  
1004

Leibniz  
Universität  
Hannover

# Bestimmungsgemäßer Betrieb

## Allgemeine Einschätzungen

- Methodik der AN für eine systematische Ermittlung und Bewertung von Deltas geeignet
- Struktur des Berichts und die prinzipielle Vorgehensweise der AN angemessen
- Relevante Literatur bewertet, jedoch sollte nur die Literatur zitiert werden, die in inhaltlichem Zusammenhang steht (insbesondere SSK, ICRP). Das Reviewteam empfiehlt darüber hinaus, die verabschiedete StrISchV sowie die für das Jahr 2019 und 2020 angekündigten Verwaltungsvorschriften in künftigen Phasen der ÜsiKo zu berücksichtigen.
- Ableitung der Deltas schlüssig. Reviewteam kommt in keinem Fall zu einer abweichenden Bewertung der Deltas

## Identifizierte Deltas

- Es wurden insgesamt 25 Deltas identifiziert. Bei keinem dieser Deltas wurde ein weiterer zukünftiger Überprüfungsbedarf auf Grund der Sicherheitsrelevanz festgestellt.
- Das Reviewteam teilt die Meinung des AN, dass keine sicherheitsrelevanten Deltas vorliegen
- Änderungen der Verwaltungsvorschriften, wie der vom AN erwähnte mögliche Übergang vom Gauß-Fahnenmodell zum Lagrange-Partikelmodell für die Ausbreitung von Stoffen mit der Abluft müssen in künftigen Schritten vom Betreiber berücksichtigt werden und hinsichtlich der Relevanz für Deltas zu gegebener Zeit überprüft werden.

## Anmerkungen des Reviewteams

- Gemäß dem Auftrag durch BGE hat der AN die StrlSchV in der zum Stichtag gültigen Fassung (2011) herangezogen. Angesichts der vorgesehenen Verfahrensdauer der weiteren Phasen der ÜsiKo sollten alle Textpassagen, die sich nicht ausdrücklich auf den Stand von W&T zum Zeitpunkt des PFB beziehen, Bezug auf die neue Fassung der StrlSchV (und ggf. des StrlSchG) nehmen.
- Bei der Abschätzung der Exposition in Folge von Ableitungen werden recht hohe Werte erreicht (auch wenn dies mit StrlSchV §99 verträglich ist). Das hohe Maß an Ausschöpfung aufgrund übergroßer Konservativitäten wird kritisch gesehen. Eine realistischere Abschätzung würde dieses Problem vermeiden.
- Aussagen wie „Aus Sicht der Autoren sind keine nennenswerten Änderungen des Beitrags des Muttermilchpfads zur potenziellen Strahlenexposition im Hinblick auf die Einhaltung der Grenzwerte zu erwarten.“ sollten mit einer Empfehlung an den Betreiber zum rechnerischen Nachweis einhergehen.



# Unterkritikalität in der Betriebsphase

## Allgemeine Einschätzungen

- Die Literatur, insbesondere neuere Normen und Regelungen, bzw. aktualisierte Neuauflagen derselben werden adäquat gelistet und bewertet
- Keine Zusammenstellung von Forschungsarbeiten. Hinsichtlich der sehr hohen Konservativitäten und den gesicherten Erkenntnissen für kritische Massen hält es das Reviewteam für unwahrscheinlich, dass eine weitergehende Betrachtung die Schlussfolgerungen hinsichtlich sicherheitsrelevanter Deltas ändern würde.
- Hinsichtlich der geplanten weiteren Laufzeit der ÜsiKo sollten aber alle Verweise an die aktuelle seit 31.12.2018 gültige Version der StrlSchV sowie des Strahlenschutzgesetzes angepasst werden.
- Die Struktur des Berichts und die prinzipielle Vorgehensweise der AN wird vom Reviewteam als angemessen hinsichtlich der Identifizierung von Deltas betrachtet.
- Das Reviewteam sieht die Bewertung anhand der vier Kriterien „gesetzliche Vorgaben“, „normative Grundlagen“, „zulässige Konzentrationen“ und „Berechnungsverfahren“ als vollständig an.

## Identifizierte Deltas

- Es wurden gemäß Anhang 1 insgesamt 13 Deltas identifiziert, bei vier dieser Deltas wurde eine sicherheitstechnische Relevanz festgestellt.
- Das Reviewteam bewertet die Ableitungen der Deltas als schlüssig und nachvollziehbar.
- Das Reviewteam teilt die Schlussfolgerungen der AN hinsichtlich der sicherheitstechnischen Relevanz der Deltas: Es wurde kein Delta identifiziert, das Zweifel an der Kritikalitätssicherheit aufkommen lässt.
- Zusätzliche Actinoide U-232, U-234, Pu-236, Pu-240, Pu-242, Cm-242 und Cm-246: Das Reviewteam empfiehlt eine realistische Modellierung unter Kreditnahme von physikalischen und chemischen Stoffeigenschaften.
- Das Reviewteam stimmt dem AN zu, dass eine Berechnung der Sicherheitsfaktoren für die Nuklide Am-242m, Cm-243, Cm-245, Cm-247 erfolgen sollte, da für diese von einer kleineren kritischen Masse ausgegangen werden muss. Für Nuklide, deren kritische Masse größer ist als im PFB angenommen bedarf es keiner erneuten Rechnung

## Anmerkungen des Reviewteams

Es bleibt in den Augen des Reviewteams unverständlich, warum in der Betriebsphase – denn nur diese ist Gegenstand dieses Berichts - mit Szenarien gearbeitet wird, die in konservativer Weise eine vollständige Auslaugung des Abfalls und somit erheblichen Wasserzutritt zugrunde legen (50g / 0,1m<sup>3</sup> angenommene Pu-239 Konzentration). Der Begründung, dies sei der Kompatibilität mit der Nachbetriebsphase geschuldet kann vom Reviewteam nicht in Gänze gefolgt werden. Die Nachbetriebsphase wird schließlich getrennt behandelt.





TU Clausthal



**Öko-Institut e.V.**  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology



FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA



Leibniz  
Universität  
Hannover

# Zusammenfassung

## Zusammenfassung

- Einheitliche Vorgaben zum Vorgehen der AN und zur Dokumentation wären wünschenswert gewesen (Nachvollziehbarkeit, Vergleichbarkeit!), insbes. unterschiedliche Methodik der AN zur Bewertung der Deltas (Schritt von identifizierten zu sicherheitsrelevanten Deltas)
- Bedeutung von (Über-)Konservativitäten im PFB nicht immer konsistent durch AN berücksichtigt
- Nützliche Grundlagen für Untersuchungen in der Phase 2, die für eine Leistungsbeschreibung in einigen Aspekten jedoch konkretisiert werden müssten
- Aus Phase 1 ergeben sich nach Einschätzung des Reviewteams keine Hinweise auf Aspekte, hinsichtlich derer die Bewertung der Sicherheit grundsätzlich in Frage zu stellen ist.